

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-209805

(43)Date of publication of application : 20.08.1993

(51)Int.Cl. G01M 7/02

(21)Application number : 04-015101

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 30.01.1992

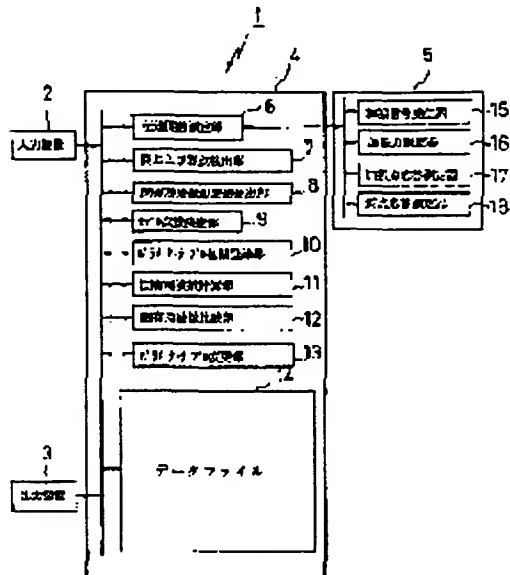
(72)Inventor : KUROIWA TADASHI

(54) DEVICE AND METHOD FOR IDENTIFYING PARAMETER OF SYSTEM SPRING - MATERIAL PARTICLES

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a parameter-identification device of spring-material particles system which can identify the value of parameters, which are the masses of a spring and of a material particles of the spring-material particles system with the same pole and zero point as a target system in a target frequency range when the number of points where response is measured is equal to or not equal to the number of measured modes or there are pole/zero-point erasure of a transfer function.

CONSTITUTION: A natural frequency of an entire system under boundary conditions where a vibration point is free and fixed and that of a partial system under boundary conditions where material particles other than the vibration point are fixed are extracted by a natural frequency measurement value extraction part 8 according to the vibration force when one edge of the spring/material point system is vibrated and a transfer function of each part which is measured from the response of several material particles. The values of parameters such as the spring constant and the mass of a model are obtained so that the natural frequency which is calculated by a natural frequency calculation part 11 from the model of the spring-material particles system corresponding to them matches by repetitive calculated at a natural frequency comparison part 12 and a parameter table change part 13.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-209805

(43)公開日 平成 5 年(1993) 8 月20日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 M 7/02

8909-2G

G 0 1 M 7/ 00

A

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平4-15101

(22)出願日 平成 4 年(1992) 1 月30日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 黒岩 正

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会

社東芝総合研究所内

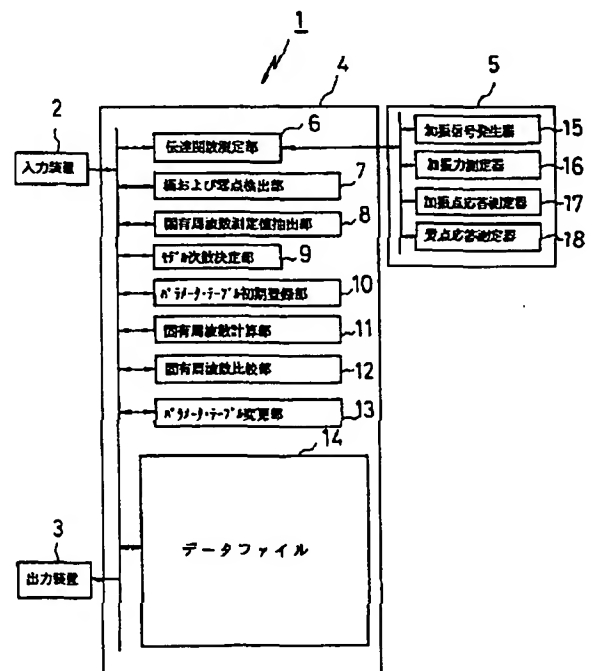
(74)代理人 弁理士 三好 秀和 (外 4 名)

(54)【発明の名称】 ばね・質点系のパラメータ同定装置およびその方法

(57)【要約】

【目的】 対象とする周波数範囲において、対象とする系と同一の極と零点を持つばね・質点系のモデルのばねの質量および質点の質量というパラメータの値を、応答を測定する点の個数と測定されたモードの個数が等しい場合、および等しくない場合、もしくは伝達関数の極・零点消去がある場合でも同定することができるばね・質点系のパラメータ同定装置を提供することを目的とする。

【構成】 ばね・質点系の一端を加振した場合の加振力と幾つかの質点の応答から測定された各部の伝達関数から、加振点自由および固定の境界条件での全体系の固有周波数と加振点以外の質点を固定した境界条件での部分系の固有周波数を固有周波数測定値抽出部 8 で抽出し、それらと対応するばね・質点系のモデルから固有周波数計算部 11 で計算された固有周波数が一致するようにモデルのばね定数および質量というパラメータの値を、固有周波数比較部 12、パラメータ・テーブル変更部 13 で繰り返し計算により求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ばねと質点が交互に直列につながったばね・質点系で、ばねのばね定数および質点の質量というパラメータの値を同定するパラメータ同定装置において、
 前記ばね・質点系の一端側の質点に加振力を作用させた時の加振点の質点およびその他の任意の各質点の応答を測定する応答測定手段と、
 該応答測定手段で測定された応答に基づいて、前記加振力に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数、前記加振点の応答に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数、および前記加振点以外の任意の質点の応答に対する各質点の応答を表す部分系の伝達関数を測定する伝達関数測定手段と、
 該伝達関数測定手段で測定された各伝達関数の極および零点を検出する極および零点検出手段と、
 前記伝達関数測定手段で測定された各伝達関数の特徴から前記ばね・質点系のモデルの次数を決定するモデル次数決定手段と、
 該モデル次数決定手段で決定された次数を有するモデルのパラメータの値を格納するパラメータ・テーブルに、値が既知なパラメータについてはそれらの値を設定し、残りの未知なパラメータについては近似値を設定して、前記既知パラメータと未知パラメータの初期設定を行うパラメータ・テーブル初期登録手段と、
 前記パラメータ・テーブルに既知パラメータと未知パラメータの値を入力する入力手段と、
 前記極および零点検出手段で検出された各伝達関数の極および零点に基づいて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数、および前記加振点以外の任意の質点の応答に対するその質点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数の各測定値を抽出する固有周波数測定値抽出手段と、
 前記パラメータ・テーブル初期登録手段で前記パラメータ・テーブルに初期設定された既知パラメータと未知パラメータの値を用いて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での部分系の固有周波数とを計算し、
 前記固有周波数測定値抽出手段で抽出された固有周波数の測定値とそれに対応する前記固有周波数計算手段で求められた固有周波数の計算値とを比較し、両者がほぼ一致した場合には前記ばね・質点系のパラメータが同定さ

れたと判定する固有周波数比較部と、

該固有周波数比較部で固有周波数の測定値と計算値とを比較した際に、両者が一致していない時には両者が一致するように前記パラメータ・テーブルに設定されている未知パラメータの値を変更するパラメータ・テーブル変更手段と、を具備したことを特徴とするばね・質点系のパラメータ同定装置。

【請求項2】 ばねと質点が交互に直列につながったばね・質点系で、ばねのばね定数および質点の質量というパラメータの値を同定するパラメータ同定方法において、

前記ばね・質点系の一端側の質点を加振した場合の加振点の質点およびその他の任意の各質点の応答から、前記加振力に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数と、前記加振点の応答に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数と、前記加振点以外の任意の質点の応答に対する各質点の応答を表す部分系の伝達関数とを測定し、

測定された各伝達関数の極および零点を検出して、検出された極および零点から、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点以外の任意の質点の応答に対するその質点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数の測定値とを抽出し、

一方、測定された前記各伝達関数の特徴から前記ばね・質点系のモデルの次数を決定し、決定された次数を有するモデルのパラメータの値を格納するパラメータ・テーブルに、値が既知なパラメータについてはそれらの値を設定し、残りの未知なパラメータについては近似値を設定して、前記既知パラメータと未知パラメータの初期設定をし、

前記パラメータ・テーブルに初期設定された既知パラメータと未知パラメータの値を用いて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数とを計算し、

前記固有周波数の測定値とそれに対応する固有周波数の計算値とを比較して、両者がほぼ一致した場合にはパラメータが同定されたとし、

また、両者が一致していない時には両者が一致するように前記パラメータ・テーブルに設定されている未知パラメータの値を変更してパラメータの同定を行うことを特徴とするばね・質点系のパラメータ同定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば構造物等の振動解析等を行う場合に、構造物を簡単なばね・質点系にモデル化してパラメータの同定を行うばね・質点系のパラメータ同定装置およびその方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ばね・質点系のパラメータを同定する方法としては、例えば一般的な構造物の実験モード解析を適用してモーダルパラメータを求め、それをもとに対象とする系の質量及びばね定数を求める方法がよく用いられている。

【0003】実験モード解析では、対象とする系の特性を周波数領域または時間領域で曲線適合（カーブフィット）することにより求めている。周波数領域でのカーブフィットでは、測定された伝達関数の各共振峰をそれぞれ独立なモードとして求める1自由度法（S D O F）、異なるモード同士の相互影響を考慮しながら複数の固有モードのモード特性を同時に決定する多自由度法（M D O F）などがある。

【0004】時間領域でのカーブフィットでは、剰余質量と剰余剛性を無視してカーブフィットを行った後に周波数領域に直してそれらを補正する方法と、それらも他のモード特性と関連付けながら同時に時間領域で決定する方法とがある。また、モーダルパラメータから対象とする系の質量およびバネ定数を求めるには、対角マトリックス法や疑逆行列法などがある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記した従来の実験モード解析に基づくばね・質点系のパラメータ同定方法では、以下のような課題があった。

【0006】（a） 対象とする周波数範囲外からの影響を考慮するために、剰余質量と剰余剛性を考慮する必要がある。

【0007】（b） 周波数領域でのカーブフィットでは、伝達関数の極と零点とが接近して両者の影響が互いに消去される場合、それらの極と零点は考慮されない。

【0008】（c） 伝達関数の極だけを用いて系の特性を記述しようとするため、系の次数即ち採用するモードの個数を変えると系の零点が変化するために系全体の特性が変化してしまう。

【0009】（d） 周波数領域での特性を合わせるためには、伝達関数の零点近傍の精度の悪い測定データを直接用いる必要がある。

【0010】（e） 採用するモードの個数が真のモードの個数より多いと物理的には意味のない仮のモードが混入する。

【0011】（f） モード解析により得られたモーダルパラメータから対象とする系の質量およびばね定数を求めるには、観測点の個数と測定されたモードの個数が等しい場合には一義的に変換できるが、そうでない場合

には難しい。

【0012】本発明は上記した課題を解決する目的でなされ、応答を測定する点の個数と測定されたモードの個数が等しくない場合や、伝達関数の極・零点消去がある場合でも、対象とする系のパラメータを同定することができるばね・質点系のパラメータ同定装置およびその方法を提供しようとするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記した課題を解決するために本発明は、ばねと質点が交互に直列につながったばね・質点系で、ばねのばね定数および質点の質量というパラメータの値を同定するパラメータ同定装置において、前記ばね・質点系の一端側の質点に加振力を作用させた時の加振点の質点およびその他の任意の各質点の応答を測定する応答測定手段と、該応答測定手段で測定された応答に基づいて、前記加振力に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数、前記加振点の応答に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数、および前記加振点以外の任意の質点の応答に対する各質点の応答を表す部分系の伝達関数を測定する伝達関数測定手段と、該伝達関数測定手段で測定された各伝達関数の極および零点を検出する極および零点検出手段と、前記伝達関数測定手段で測定された各伝達関数の特徴から前記ばね・質点系のモデルの次数を決定するモデル次数決定手段と、該モデル次数決定手段で決定された次数を有するモデルのパラメータの値を格納するパラメータ・テーブルに、値が既知なパラメータについてはそれらの値を設定し、残りの未知なパラメータについては近似値を設定して、前記既知パラメータと未知パラメータの初期設定を行うパラメータ・テーブル初期登録手段と、前記パラメータ・テーブルに既知パラメータと未知パラメータの値を入力する入力手段と、前記極および零点検出手段で検出された各伝達関数の極および零点に基づいて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数、および前記加振点以外の任意の質点の応答に対するその質点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数の各測定値を抽出する固有周波数測定値抽出手段と、前記パラメータ・テーブル初期登録手段で前記パラメータ・テーブルに初期設定された既知パラメータと未知パラメータの値を用いて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数、および前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数の各計算値を求める固有周波数計算手段と、前記固有周波数測定値検出手段で抽

出された固有周波数の測定値とそれに対応する前記固有周波数計算手段で求められた固有周波数の計算値とを比較し、両者がほぼ一致した場合には前記ばね質点系のパラメータが同定されたと判定する固有周波数比較部と、該固有周波数比較部で固有周波数の測定値と計算値とを比較した際に、両者が一致していない時には両者が一致するように前記パラメータ・テーブルに設定されている未知パラメータの値を変更するパラメータ・テーブル変更手段とを具備したことを特徴としている。

【0014】また、ばねと質点が交互に直列につながったばね・質点系で、ばねのばね定数および質点の質量というパラメータの値を同定するパラメータ同定方法において、前記ばね・質点系の一端側の質点を加振した場合の加振点の質点およびその他の任意の各質点の応答から、前記加振力に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数と、前記加振点の応答に対する各質点の応答を表す全体系の伝達関数と、前記加振点以外の任意の質点の応答に対する各質点の応答を表す部分系の伝達関数とを測定し、測定された各伝達関数の極および零点を検出して、検出された極および零点から、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点以外の任意の質点の応答に対するその質点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数の測定値とを抽出し、一方、測定された前記各伝達関数の特徴から前記ばね・質点系のモデルの次数を決定し、決定された次数を有するモデルのパラメータの値を格納するパラメータ・テーブルに、値が既知なパラメータについてはそれらの値を設定し、残りの未知なパラメータについては近似値を設定して、前記既知パラメータと未知パラメータの初期設定をし、前記パラメータ・テーブルに初期設定された既知パラメータと未知パラメータの値を用いて、前記加振力に対する各質点の応答の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点の応答に対する前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数と、前記加振点以外の任意の質点の応答の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数とを計算し、前記固有周波数の測定値とそれに対応する固有周波数の計算値とを比較して、両者がほぼ一致した場合にはパラメータが同定されたとし、また、両者が一致していない時には両者が一致するように前記パラメータ・テーブルに設定されている未知パラメータの値を変更してパラメータの同定を行うことを特徴としている。

【0015】

【作用】本発明によれば、ばね・質点系の一端側の質点を加振した場合の加振力と各質点の応答から測定された

伝達関数に基づいて、測定によって抽出される各固有周波数の測定値と、計算によって求められる各固有周波数とを比較し、両者がほぼ一致している場合にパラメータ・テーブルに設定されているパラメータ値、あるいは両者が一致していない場合でも未知パラメータの値を変更して両者をほぼ一致させた時のパラメータ・テーブルに設定されているパラメータ値によって、対象とするばね・質点系のパラメータが同定される。

【0016】

【実施例】以下、本発明を図示の一実施例に基づいて詳細に説明する。

【0017】＜第1実施例＞図1は、本発明の一実施例に係るばね・質点系のパラメータ同定装置の概略構成を示す機能ブロック図である。

【0018】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置1は、キーボード等の入力装置2、CRTディスプレイ等の出力装置3、演算装置4、応答測定装置5とで構成されている。

【0019】演算装置4は、伝達関数測定部6、極および零点検出部7、固定周波数測定値抽出部8、モデル次数決定部9、パラメータ・テーブル初期登録部10、固有周波数計算部11、固有周波数比較部12、パラメータ・テーブル変更部13、データファイル（記憶部）14から構成されている。

【0020】データファイル（記憶部）14には、伝達関数測定部6で測定される伝達関数、極および零点検出部7で検出される伝達関数の極および零点、固有周波数測定値抽出部8で抽出される固有周波数の測定値、パラメータ・テーブル初期登録部10に設定されるパラメータ・テーブル、固有周波数計算部11で求められる固有周波数の計算値等が保存され、必要に応じて呼出すことができる。

【0021】伝達関数測定部6乃至データファイル（記憶部）14は、汎用コンピュータ、パソコンあるいはラップトップコンピュータ等の計算機を構成する演算装置4内に、ハードウェアあるいはソフトウェアとして設けられている。

【0022】応答測定装置5は、加振信号発生器15、加振力測定器16、加振点応答測定器17、質点応答測定器18を具備している。

【0023】伝達関数測定部6は、例えば図3に示すようにある構造物を簡単なばね・質点系にモデル化した時に、このばね・質点系の一端側の質点（図では左端の質点： m_0 ）を加振した場合の、加振力： F_0 および加振力： F_0 に対する幾つかの質点（質点： $m_0 \sim m_N$ のうちの任意の質点）の応答（変位、速度、加速度等）から、加振力： F_0 に対する幾つかの質点（質点： $m_0 \sim m_N$ のうちの任意の質点）の応答（変位、速度、加速度等）という伝達関数、および各質点（質点： $m_0 \sim m_N$ のうちの任意の質点）間での応答（変位、速度、加速度

等) 同士という伝達関数を測定する。

【0024】この際、加振点である質点： m_0 には加振信号発生器15によって例えば F_0 という加振力が印加され、加振力測定器16によってこの時の加振力： F_0 が測定される。また、質点： m_0 の応答(変位、速度、加速度等)は加振点応答測定器17によって測定され、質点： $m_1 \sim m_N$ の全部あるいは任意の質点の応答(変位、速度、加速度等)は、測定対象の各質点にそれぞれ設けた質点応答測定器18によって測定される。

【0025】極および零点検出部7は、伝達関数測定部6で測定された各伝達関数からその極と零点を検出する。

【0026】固有周波数測定値抽出部8は、極および零点検出部7で検出される例えば図3に示したばね・質点系のモデルにおける各伝達関数の極と零点から測定される、加振力： F_0 に対する各質点： $m_0 \sim m_N$ の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、加振点(質点： m_0)の応答(変位、速度、加速度等)に対する加振点(質点： m_0)以外の各質点： $m_1 \sim m_N$ の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数、および加振点(質点： m_0)以外の各質点： $m_1 \sim m_N$ について、このうちの任意の質点の応答(変位、速度、加速度等)に対するその質点以外の質点の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数をそれぞれ抽出する。

【0027】モデル次数決定部9は、例えば図3に示したばね・質点系をN個のばねと(N+1)個の質点交互に直列につながった系としてモデル化した時の正の整数Nを、伝達関数測定部6において測定された伝達関数の特徴から決定する。

【0028】パラメータ・テーブル初期登録部10は、例えば図3に示したばね・質点系のモデルにおける、N個のばねのばね定数： $K_1 \sim K_N$ および(N+1)個の質点： $m_0 \sim m_N$ の質量というパラメータのうちから値が既知なパラメータを選択してその既知パラメータの値、および選択されなかった残りのパラメータ(未知パラメータ)の値の近似値とをパラメータ・テーブルに設定する。

【0029】固有周波数計算部11は、パラメータ・テーブル初期登録部10のパラメータ・テーブルに設定された各パラメータの値を用いて、例えば図3に示したばね・質点系のモデルにおける、加振力： F_0 に対する各質点： $m_0 \sim m_N$ の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数、および加振点(質点： m_0)の応答(変位、速度、加速度等)に対する加振点(質点： m_0)以外の各質点： $m_1 \sim m_N$ の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数、

および加振点(質点： m_0)以外の各質点： $m_1 \sim m_N$ について、このうちの質点の応答(変位、速度、加速度等)に対するその質点以外の質点の応答(変位、速度、加速度等)の特性を表す片側質点固定の境界条件での部分系の固有周波数をそれぞれ計算する。

【0030】固有周波数比較部12は、固有周波数測定値抽出部8で測定された各固有周波数の測定値と、それらに対応する固有周波数計算部11で求められた各固有周波数の計算値とを選択して、両者を比較する。

【0031】パラメータ・テーブル変更部13は、固有周波数比較部12で比較される各固有周波数の測定値とその計算値とが十分な精度で一致していない場合に、両者が一致するようにパラメータ・テーブルに格納されている未知パラメータの値を変更する。

【0032】本実施例では、例えば図3に示すようなある構造物を簡単なモデル化したばねと質点交互に直列に接続されたばね・質点系について考察する。

【0033】この図において、i番目($i=0, 1, 2, \dots, N$)の質点の質量を m_i 、i番目($i=0, 1, 2, \dots, N$)の質点の変位を X_i 、i番目($i=1, 2, \dots, N$)のばねのばね定数を K_i とする。

【0034】そして、本実施例では、図3に示したばね・質点系の一端(図では左端)の質点(加振点)： m_0 を、加振信号発生器15で加振(加振力： F_0)した時の加振点： m_0 における変位、速度、加速度等の応答、および加振点： m_0 以外の質点： $m_1 \sim m_N$ のうちのL個(ただし、LはNより小さい正の整数とする)の質点における変位、速度、加速度等の応答が測定可能である。尚、本実施例では、質点： m_i ($0 \leq i \leq N$)で測定する応答としてその変位： X_i をとるが、その質点での速度や加速度でもよい。

【0035】また、質点： m_0 に作用する加振力は加振力測定器16で測定され、加振点： m_0 での応答(例えば変位)は加振点応答測定器17で測定され、L個の質点での応答(変位)はそれぞれに取付けられた質点応答測定器18で測定される。

【0036】次に、本発明の一実施例に係るばね・質点系のパラメータ同定装置の処理手順を図2に示したフローチャートを参照して説明する。

【0037】まず、加振信号発生器15で加振点(質点： m_0)に加振力： F_0 を作用させた時の、加振点(質点： m_0)の応答(例えば変位)を加振点応答測定器16で測定すると共に、加振点(質点： m_0)以外のL($L \leq N$)個の質点： m_n (n は1, 2, ..., NのうちのL個)の応答(例えば変位)を質点応答測定器18で測定する。

【0038】そして、これらの測定情報を伝達関数測定部6に入力して、加振力： F_0 に対する加振点： m_0 と、加振点以外のL($L \leq N$)個の質点： m_n (n は1, 2, ..., NのうちのL個)の応答を表す加振点自由

の境界条件での全体系の各伝達関数： X_n / F_0 、 X_n / F_0 ($1 \leq n \leq N$)、および加振点の応答（例えば変位）に対する加振点以外の L ($L \leq N$) 個の質点： m_n (n は $1, 2, \dots, N$ のうちの L 個) の応答（例えば変位）を表す加振点固定の境界条件での全体系の伝達関数： X_n / X_0 ($1 \leq n \leq N$)、および加振点以外で応答（例えば変位）を測定した L ($L \leq N$) 個の各質点： m_n (n は $1, 2, \dots, N$ のうちの L 個) のうち m_N を除く各質点： m_j ($1 \leq j < N$) の応答に対する質点： m_k ($1 \leq j < k \leq N$) の応答（例えば変位）を表す質点： m_j ($1 \leq j < N$) 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j ($1 \leq j < k \leq N$) を測定する（ステップ S T 1）。ステップ S T 1 で測定された各伝達関数はデータファイル 14 に格納される。

【0039】そして、ステップ S T 1 で測定された各伝達関数から、極および零点検出部 7 で各伝達関数の極および零点を検出し（ステップ S T 2）、また、モデル次数決定部 9 でこの系（本実施例では図 3 に示したばね・質点系）の次数を決定する（ステップ S T 3）。ステップ S T 2 で検出された各伝達関数の極および零点は、データファイル 14 に格納される。

【0040】本実施例における次数： N は、図 3 に示したばね・質点系のばねの個数（あるいは、質点の個数から 1 を引いた数）に相当し、0 Hz から対象とする上限周波数： f_{mx} Hz の間の、全体系の伝達関数： X_0 / F_0 と X_n / F_0 ($1 \leq n \leq N$)、または X_n / X_0 ($1 \leq n \leq N$) の極の個数をとればよい。

【0041】そして、ステップ S T 2 で検出された各伝達関数の極および零点から、固有周波数測定値抽出部 8 で、加振点自由の境界条件での全体系の伝達関数： X_0 / F_0 、 X_n / F_0 ($1 \leq n \leq N$) から N 個の加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数： f'_{N1} 、 f'_{N2} 、 \dots 、 f'_{NN} と、加振点固定の境界条件での全体系の伝達関数： X_n / X_0 ($1 \leq n \leq N$) から N 個の加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数： f'_{N1} 、 f'_{N2} 、 \dots 、 f'_{NN} と、質点 m_j ($1 \leq j < N$) 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j ($1 \leq j < k \leq N$) から ($N-j$) 個の質点： m_j 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の固有周波数の測定値： $f_{Nj.1}$ 、 $f_{Nj.2}$ 、 \dots 、 $f_{Nj.Nj}$ を抽出する。

【0042】図 3 に示したばね・質点系では、質点： $m_0 \sim m_N$ の間のある質点： m_j ($j = 0, 1, \dots, N$) の応答に対する他の質点： m_k ($0 \leq j < k \leq N$ 、 $k = j+1, j+2, \dots, N-1$) の応答を表す質点： m_j 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j の極は、加振力： F_0 に対する質点： m_j の応答を表す伝達関数： X_j / F_0 の零点、および他の質点： m_i ($0 \leq i < j$) の応答に対する質点： m_j の応答を表す伝達関数： X_j / X_i の零点に等しいことか

ら、加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数の測定値： f_{N1} 、 f_{N2} 、 \dots 、 f_{NN} 、および質点： m_j 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の固有周波数の測定値： $f_{Nj.1}$ 、 $f_{Nj.2}$ 、 \dots 、 $f_{Nj.Nj}$ は、複数個抽出されることになる（ステップ S T 4）。

【0043】図 4 は、固有周波数測定値検出部 8 で測定された図 3 のばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の測定値の関係を表す図である。

【0044】ステップ S T 4 で検出された各固有周波数の測定値は、データファイル 14 に格納される。尚、固有周波数は、複素数表現された伝達関数の極の絶対値を $2\pi i$ ($i = (-1)^{1/2}$: 虚数単位) で割ればよい。

【0045】一方、ステップ S T 3 で図 3 に示したばね・質点系のモデル次数が決定されると、 N 個のばねのばね定数および ($N+1$) 個の質点の質量というパラメータのうち、値が既知なパラメータと残りのパラメータ（未知パラメータ）の近似値を設定し、パラメータ・テーブル初期登録部 10 のパラメータ・テーブルに初期設定する（ステップ S T 5）。既知パラメータと未知パラメータの設定は、オペレータがデータ入力装置 2 から入力する。

【0046】そして、伝達関数測定部 6 で測定された各伝達関数から、ステップ 4 で全体系および部分系の各固有周波数の測定値を検出する場合と同様に、ステップ S T 5 で設定された既知パラメータと未知パラメータの値から、図 5 に示すようにばね・質点系の振動モデルにおける全体系および部分系の各固有周波数の計算値を考察する。

【0047】即ち、ステップ S T 5 で設定された既知パラメータと未知パラメータの値から、固有周波数計算部 11 で、加振力： F_0 に対する各質点： m_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) の応答を表す加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数： g'_{N1} 、 g'_{N2} 、 \dots 、 g'_{NN} と、加振点： m_0 の応答に対する加振点以外の各質点： m_i ($i = 1, 2, \dots, N$) の応答を表す加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数： g_{N1} 、 g_{N2} 、 \dots 、 g_{NN} と、加振点以外の質点： m_j ($j = 1, 2, \dots, N-1$) の応答に対する、質点： m_k ($j < k \leq N$) の応答を表す質点： m_j 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の固有周波数： $g_{Nj.1}$ 、 $g_{Nj.2}$ 、 \dots 、 $g_{Nj.Nj}$ を計算する（ステップ S T 6）。ステップ S T 6 で計算された各固有周波数は、データファイル 14 に格納される。

【0048】そして、固有周波数比較部 12 で、ステップ S T 4 と S T 5 で得られた各固有周波数のうちから対応する測定値と計算値とを比較し（ステップ S T 7）、両者が十分な精度で一致している場合（YES の場合）には、この時のパラメータ・テーブルに設定された N 個のばねのばね定数および ($N+1$) 個の質点の質量というパラメータのうち、求める未知パラメータの値が同定

されたとして出力装着3に出力され（ステップST8）、ディスプレイ等に表示される。

【0049】また、ステップST7で、対応する固有周波数の測定値と計算値の両者が十分な精度で一致していない場合（NOの場合）には、パラメータ・テーブル変更部13において、両者が一致するようにパラメータ・テーブルに設定された、N個のばねのばね定数および（N+1）個の質点の質量というパラメータのうち、未知パラメータの近似値を変更してステップST6、ST7に戻り、対応する固有周波数の測定値と計算値の両者が十分な精度で一致するまで未知パラメータの値を変更する（ステップST9）。

【0050】尚、ステップST9で、未知パラメータの値を変更しても対応する固有周波数の測定値と計算値の両者が十分な精度で一致しない場合には、オペレータが入力装置2であるキーボード等进行操作、あるいは予め別にプログラムされているソフトに基づいて、固有周波数比較部12で選択される固有周波数の値を再選択、あるいはパラメータ・テーブル初期登録部10のパラメータ・テーブルに新たな未知パラメータの近似値と既知パラメータの値を再入力、あるいはモデル次数決定部9で決定されるモデル次数を再変更することによって、パラメータの同定を行うことが可能である。

【0051】図3に示すばね・質点系のパラメータが同定されるためには、まず、N個のばねのばね定数および（N+1）個の質点の質量という全パラメータのうち、固有周波数測定値抽出部8において検出された各固有周波数の要因となるパラメータ以外のパラメータがあれば、それは既知パラメータとする必要がある。

【0052】ここで、各固有周波数の要因となるパラメータは、加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数： f'_{N1} 、 f'_{N2} 、 \dots 、 f'_{NN} については、質量： m_i （ $i=0, 1, 2, \dots, N$ ）、およびばね定数： K_i （ $i=1, 2, \dots, N$ ）、加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数： f_{N1} 、 f_{N2} 、 \dots 、 f_{NN} については質量： m_i （ $i=1, 2, \dots, N$ ）、およびばね定数： K_i （ $i=1, 2, \dots, N$ ）、質点 m_j （ $1 \leq j < N$ ）固定の境界条件での（N-j）次の部分系の固有周波数： $f_{Nj,1}$ 、 $f_{Nj,2}$ 、 \dots 、 $f_{Nj,Nj}$ については、質量： m_i （ $i=j+1, j+2, \dots, N-1, N$ ）、およびばね定数： K_i （ $i=j+1, j+2, \dots, N-1, N$ ）である。

【0053】さらに、パラメータが同定されるためには、未知パラメータの個数が、固有周波数測定値抽出部8において検出された各固有周波数の総数と等しいか、あるいはそれよりも少なくすることが必要である。

【0054】このように、本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置では、ばね・質点系の固有周波数に基づいてその質点の質量およびばねのばね定数というパラメータの値を求めているため、すべての質点の質量お

よびばねのばね定数が未知の場合にはそれらの間の相対的な比が求まり、また、1個以上の質点の質量またはばね定数の値が既知の場合には、それらの値が求まる。

【0055】図6乃至図9は、前記した本実施例のパラメータ同定装置によって測定された伝達関数の一例を示す図、図10乃至図13は、前記した本実施例のパラメータ同定装置で計算によって得られた伝達関数の一例を示す図であり、各図の（a）はゲイン、（b）は位相を表している。尚、図10乃至図13における各伝達関数では、得られたばね・質点系のモデルに微小なダンピングを付加しているため、各固有周波数においてゲインが無限度とはなっていない。

【0056】図6（a）、（b）は、加振力： F_0 に対する1番目の質点： m_1 の加速度： a_1 の特性を表す伝達関数： a_1 / F_0 、図7（a）、（b）は、加振力： F_0 に対する2番目の質点： m_2 の加速度： a_2 の特性を表す伝達関数： a_2 / F_0 、図8（a）、（b）は、加振点： m_0 の加速度： a_0 に対する1番目の質点： m_1 の加速度： a_0 の特性を表す伝達関数： a_1 / a_0 、図9（a）、（b）は、加振点： m_0 の加速度： a_0 に対する2番目の質点： m_2 の加速度： a_2 の特性を表す伝達関数： a_2 / a_0 である。

【0057】尚、各図の（a）において、 $f'_{N1,1}$ 、 f'_{N2} は加振点： m_0 自由の境界条件での全体系の固有周波数、 f_{N1} 、 f_{N2} は加振点： m_0 固定の境界条件での全体系の固有周波数、 $f_{N1,1}$ は1番目の質点： m_1 固定の境界条件での部分系の固有周波数、 $f_{N2,1}$ は2番目の質点： m_2 固定の境界条件での部分系の固有周波数を表している。

【0058】また、本実施例では、前記した各図に示したような伝達関数が測定されることによって、この伝達関数の特徴からモデル次数決定部9により、このばね・質点系のモデルの次数： N は3と決定される。

【0059】＜第2実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置の伝達関数測定部6において、前記第1実施例のように加振点自由の境界条件での全体系の固有周波数の測定値： f'_{N1} 、 f'_{N2} 、 \dots 、 f'_{NN} が得られない場合や、加振点固定の境界条件での全体系の固有周波数の測定値： f_{N1} 、 f_{N2} 、 \dots 、 f_{NN} が得られない場合に、これらの固有周波数を用いなくても前記同様に系のパラメータ同定を行うことができる。

【0060】即ち、図3に示すばね・質点系においてN個のばねのばね定数および（N+1）個の質点の質量という全パラメータのうち、固有周波数測定値抽出部8において検出された各固有周波数の要因となるパラメータ以外のパラメータがあれば、それを既知パラメータとし、さらに、未知パラメータの個数が、固有周波数測定値抽出部8において検出された各固有周波数の総数と等しいか、あるいはそれよりも少なくなるようにすること

によって、パラメータの同定を行うことが可能である。

【0061】＜第3実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置の固有周波数測定値抽出部8において、ばね・質点系のモデルで本来同一の値をとるべき複数の固有周波数の測定値の間にばらつきがある場合、固有周波数の測定値として、ばらつきがある固有周波数の各測定値の平均値を用いるようにする。

【0062】＜第4実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置の極および零点検出部7において、本来現れるべき伝達関数の極または零点が、それぞれ隣接する周波数に零点または極があるために両者の影響が打ち消し合って現れない場合には、測定されるばね・質点系の伝達関数における極・零点消去による影響を除くために、同一の極または零点をもつべき他の伝達関数と比較して、不足している極または零点を加える処理を行う。

【0063】＜第5実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置のモデル次数決定部9において、ばね・質点系の次数： N は、 0 Hz から対象とする周波数の上限周波数 $f_{\max}\text{ Hz}$ の間での、加振点自由の境界条件での全体系の伝達関数： X_i / F ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) の極・零点消去された極の数を含めた極の数に等しく、加振点以外の質点： m_j ($j = 1, 2, \dots, N-1$) 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j ($k = j+1, j+2, \dots, N$) の極の数よりも大きいことを利用して、ばね・質点系の次数： N を、 0 Hz から対象とする周波数の上限周波数 $f_{\max}\text{ Hz}$ の間での、加振点自由の境界条件での全体系の伝達関数： X_i / F_0 ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)、加振点固定の境界条件での全体系の伝達関数： X_i / X_0 ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)、または加振点以外の質点： m_j ($j = 1, 2, \dots, N-1$) 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j ($k = j+1, j+2, \dots, N$) の極の数と同じ、あるいはそれよりも大きい数とする処理を行う。

【0064】＜第6実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置のモデル次数決定部9において、ばね・質点系のモデルの次数： N を、加振点自由の境界条件での全体系の伝達関数： X_i / F_0 ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)、加振点固定の境界条件での全体系の伝達関数： X_i / X_0 ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)、または加振点以外の質点： m_j ($j = 1, 2, \dots, N-1$) 固定の境界条件での ($N-j$) 次の部分系の伝達関数： X_k / X_j ($k = j+1, j+2, \dots, N$) のゲインのピーク数かそれ以上の数、あるいは前記した各伝達関数の位相が大きく (例えば 20° 以上 200° 以下) 遅れる箇所の数と同じかそれ以上の数とする処理を行う。

【0065】＜第7実施例＞本実施例では、図1に示し

た第1実施例のパラメータ同定装置の固有周波数測定値抽出部8において、ばね・質点系の各固有周波数を求める場合に、ダンピングの影響を無視して、測定された各伝達関数から各固有周波数を抽出する処理を行う。

【0066】＜第8実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置の固有周波数計算部11において、ばね・質点系のモデルの固有値解析を行うことによりその固有周波数を計算する、あるいはばね・質点系のモデルの伝達関数の分母が零となる極を、解析的または数値計算のより、ばね・質点系の固有周波数を求める。

【0067】＜第9実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置の固有周波数計算部11において、構造物や機構等の振動モデル系の固有周波数におけるダンピングの影響を無視して、ばね・質点系のモデルから各固有周波数を計算する。

【0068】＜第10実施例＞本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置のパラメータ・テーブル変更部13において、例えば図3に示したばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の測定値： $f\cdot$ とそれらに対応する計算値： $g\cdot$ との誤差 (この時の誤差としては、例えばばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の測定値： $f\cdot$ とそれらに対応する計算値： $g\cdot$ との絶対誤差： $f\cdot - g\cdot$ 、または相対誤差： $1 - g\cdot / f\cdot$ を用いる) のノルム (この時のノルムとしては、例えば誤差の絶対値の和、または誤差の2乗値の和を用いる) を最小とするように未知パラメータの値を変更して繰り返し計算を行わせる。

【0069】尚、上記したばね・質点系の全体系および部分系の固有周波数の測定値： $f\cdot$ は、 $f\cdot = f_{N1}, f_{N2}, \dots, f_{NN}$ 、および $f_{Nj,1}, f_{Nj,2}, \dots, f_{Nj,N_j}$ ($1 \leq j < N$) のうちの全部あるいはその一部であり、それらに対応する計算値： $g\cdot$ は、 $g\cdot = g_{N1}, g_{N2}, \dots, g_{NN}$ 、および $g_{Nj,1}, g_{Nj,2}, \dots, g_{Nj,N_j}$ ($1 \leq j < N$) のうちの全部あるいはその一部である。

【0070】また、上記したばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の測定値： $f\cdot$ とそれらに対応する計算値： $g\cdot$ とが一致すれば、誤差のノルムは零となる。

【0071】＜第11実施例＞本実施例では、本来同一の値をとるべき各固有周波数の測定値にばらつきがある場合に、前記第10実施例で示した誤差のノルムを最小とするように繰り返し計算を行う方法を用いる場合において、上記した誤差のノルムの各成分を算出する際に、固有周波数の測定値のばらつきの程度を、ノルムの各成分の重みとして考慮した処理を行わせる。

【0072】この場合、例えばノルムの各成分として、

$(f \cdot - g \cdot) / \sigma \cdot$ の絶対値、またはその2乗値を用いたものである。尚、ここでは、 $f \cdot$ としては、本来同一の値をとるべき幾つかの固有周波数の測定値の平均値を用い、ノルムの各成分間の重み付けの係数としてその標準偏差： $\sigma \cdot$ を用いている。

【0073】<第12実施例>本実施例では、図1に示した第1実施例のパラメータ同定装置のパラメータ・テーブル変更部13において、全体系および部分系の各固有周波数の測定値とそれらに対応する計算値が一致するように、あるいは両者の間の誤差のノルムが最小となるように未知パラメータの値を変更する場合に、例えば図3に示したばね・質点系の振動モデルの、 $(N+1)$ 個の質点の質量： m_i ($i=0, 1, 2, \dots, N$)、およびN個のばねのばね定数： k_i ($i=1, 2, \dots, N$) という未知のパラメータの全部あるいはその一部を変数とし、前記した各固有周波数の測定値： $f \cdot$ とそれらに対応する計算値： $g \cdot$ との間の誤差のノルムを最小化すべき評価関数（あるいは目的関数ともいう）とした最適化問題を解き、誤差のノルムが最小となる変数の値を求める。

【0074】本実施例において、最適化問題を解くことによって質点の質量およびばねのばね定数という未知のパラメータの値を求める場合、最小化すべき評価関数における誤差として、例えば測定された各固有周波数とそれらに対応するばね・質点系のモデルから計算された固有周波数との絶対誤差、または相対誤差を用いる。

【0075】また本実施例において、最適化問題を解くことによって質点の質量およびばねのばね定数という未知のパラメータの値を求める場合、最小化すべき評価関数におけるノルムとして、例えば誤差の絶対値、またはその2乗値の和を用いる。

【0076】また、本実施例において、最適化問題を解くことによって質点の質量およびばねのばね定数という未知のパラメータの値を求める場合、ばね・質点系のモデルでは同一の値をとるべき固有周波数の測定値にばらつきがある場合、最小化すべき評価関数における誤差のノルムの各成分を算出する際に、固有周波数の測定値のばらつきの程度を考慮して重み付けをする。

【0077】また、本実施例において、最適化問題を解くことによって質点の質量およびばねのばね定数という未知のパラメータの値を求める場合、ばね・質点系のモデルでは同一の値をとる固有周波数の測定値にばらつきがある場合に、固有周波数の測定値としてそれらの値の平均値を用い、且つ最小化すべき評価関数における誤差のノルムの各成分として、固有周波数の測定値の平均値とそれに対応するばね・質点系のモデルから計算された固有周波数との差を固有周波数の測定値の標準偏差で割った値の絶対値、または2乗値を用いる。

【0078】また、本実施例において、最適化問題を解くことによって質点の質量およびばねのばね定数という

未知パラメータの値を求める場合、変数の探索範囲を限定して繰り返し計算における解の探索効率を上げると共に、零割りやオーバーフロー等の数値計算上のエラーを防ぐために、変数とする未知の質量およびばね定数のとりうる範囲に、下限値および上限値、またはそれらのいずれか一方を制約条件として付加して最適化問題を解く。

【0079】この際、質点の質量およびばねのばね定数という変数のうちの少なくとも一つが負の値をとった場合、モデルから計算されたばね・質点系の固有周波数には物理的な意味がなくなることを防ぐために、変数とする未知の質量およびばね定数というパラメータの値のとりうる下限値を零または正の数とする。

【0080】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように本発明によれば、対象とする周波数範囲において、対象とする系と同一の極と零点を持つばね・質点系のモデルのばねの質量および質点の質量というパラメータの値を、応答を測定する点の個数と測定されたモードの個数が等しい場合、および等しくない場合、さらには伝達関数の極・零点消去がある場合にも、同定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係るばね・質点系のパラメータ同定装置の概略構成を示す機能ブロック図である。

【図2】図1に示したばね・質点系のパラメータ同定装置における処理手順を示すフローチャートである。

【図3】はね・質点系の一例を示す概略図である。

【図4】図3に示したばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の測定値の関係を表す概略図である。

【図5】図3に示したばね・質点系の全体系および部分系の各固有周波数の計算値の関係を表す概略図である。

【図6】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって測定された伝達関数の一例を示した図であり、図6(a)はゲイン、図6(b)は位相を示している。

【図7】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって測定された伝達関数の一例を示した図であり、図7(a)はゲイン、図7(b)は位相を示している。

【図8】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって測定された伝達関数の一例を示した図であり、図8(a)はゲイン、図8(b)は位相を示している。

【図9】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって測定された伝達関数の一例を示した図であり、図9(a)はゲイン、図9(b)は位相を示している。

【図10】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって得られた伝達関数の一例を示した図であ

り、図10(a)はゲイン、図10(b)は位相を示している。

【図11】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって得られた伝達関数の一例を示した図であり、図11(a)はゲイン、図11(b)は位相を示している。

【図12】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって得られた伝達関数の一例を示した図であり、図12(a)はゲイン、図12(b)は位相を示している。

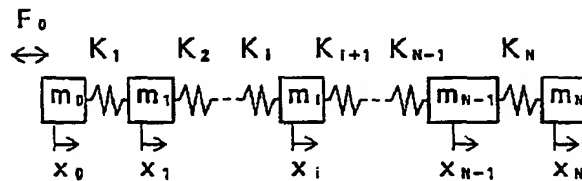
【図13】本発明に係るばね・質点系のパラメータ同定装置によって得られた伝達関数の一例を示した図であり、図13(a)はゲイン、図13(b)は位相を示している。

【符号の説明】

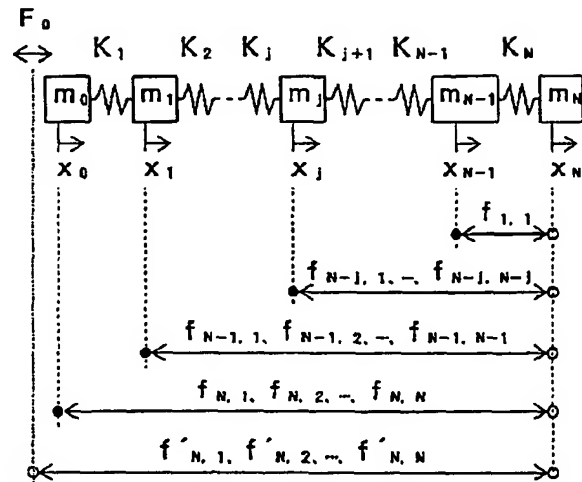
- 1 ばね・質点系のパラメータ同定装置
2 入力装置

- 3 出力装置
4 演算装置
5 応答測定装置
6 伝達関数測定部
7 極および零点検出部
8 固有周波数測定値抽出部
9 モデル次数決定部
10 パラメータ・テーブル初期登録部
11 固有周波数計算部
12 固有周波数比較部
13 パラメータ・テーブル変更部
14 データファイル
15 加振信号発生器
16 加振力測定器
17 加振点応答測定器
18 質点応答測定器

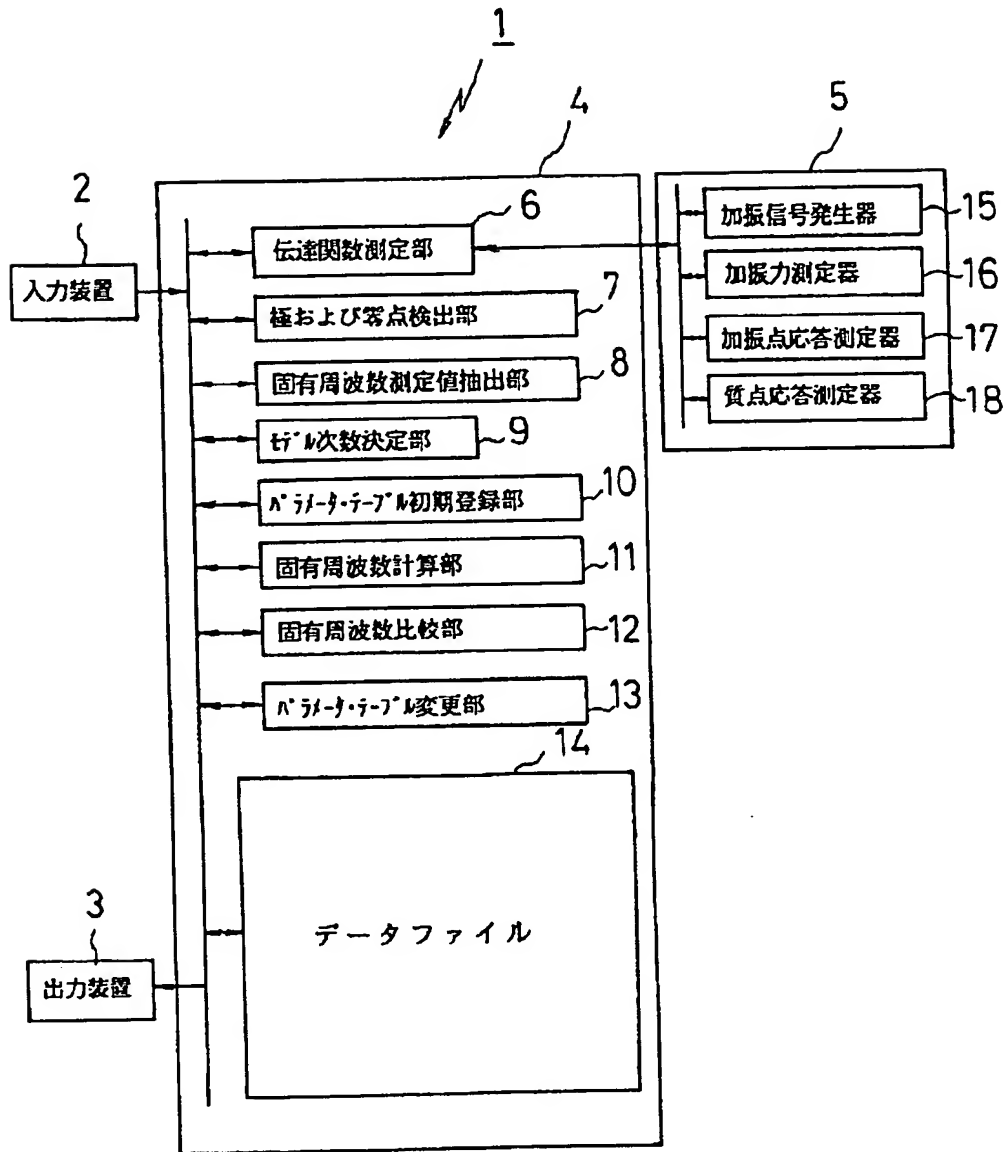
【図3】



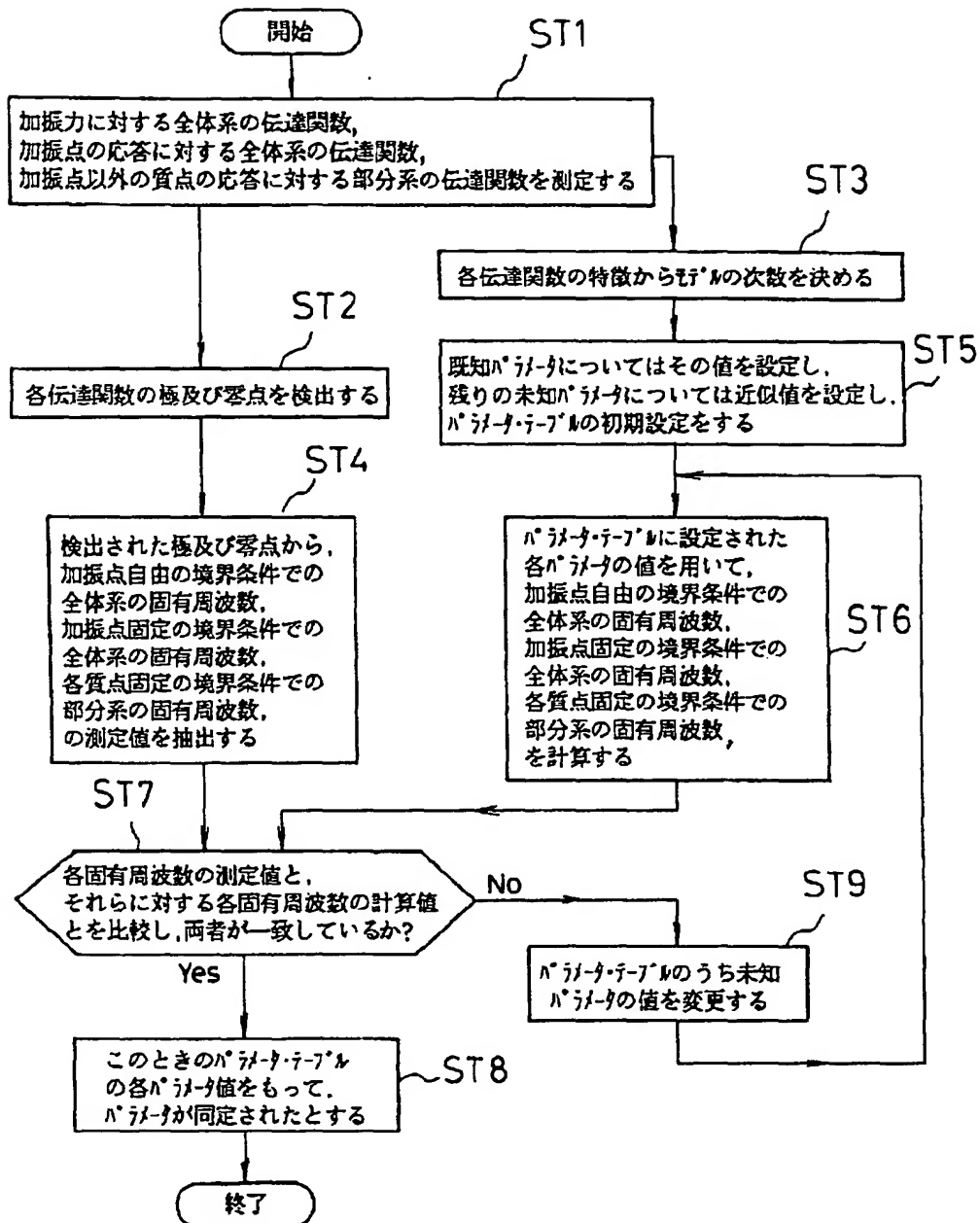
【図4】



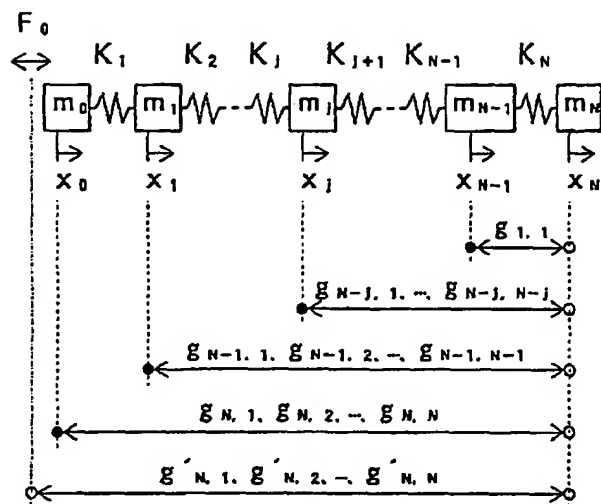
【図1】



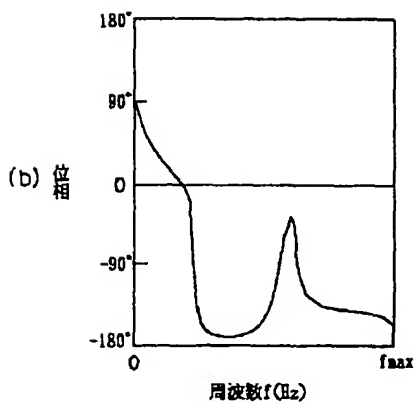
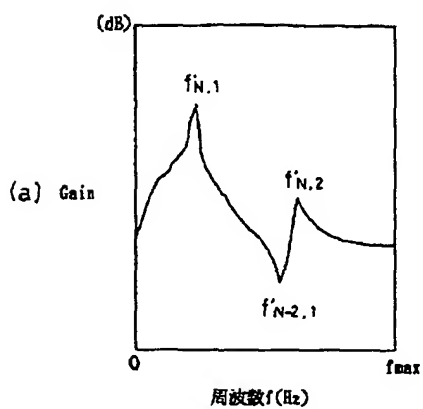
【図2】



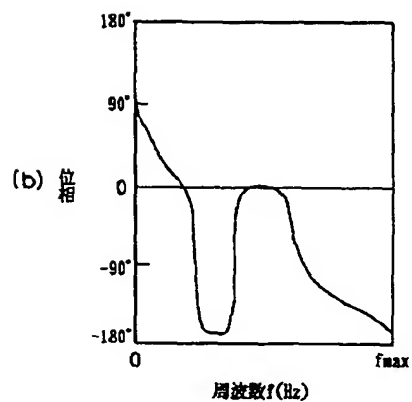
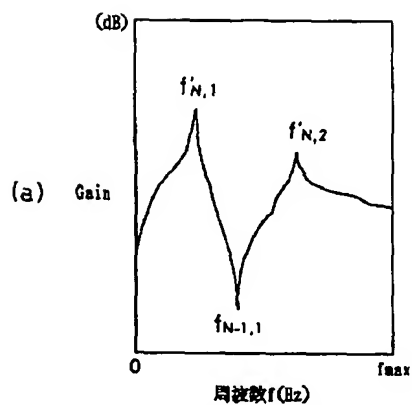
【図5】



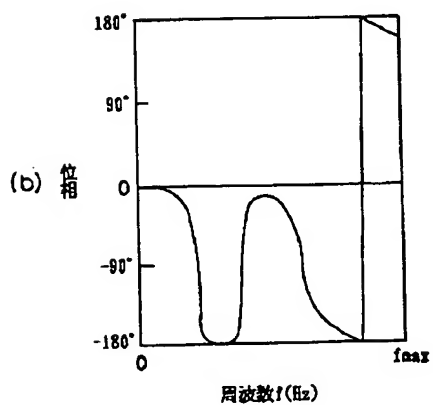
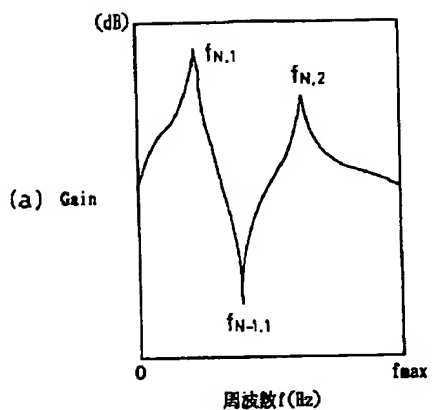
【図7】



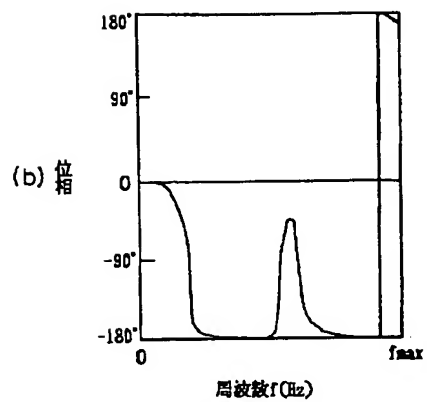
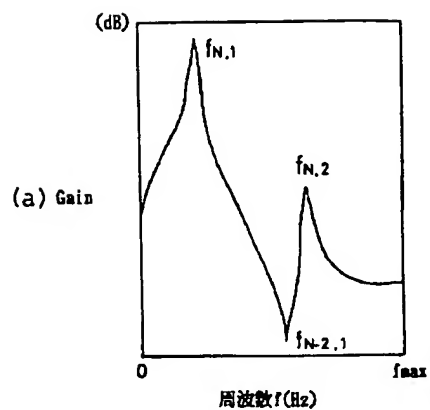
【図6】



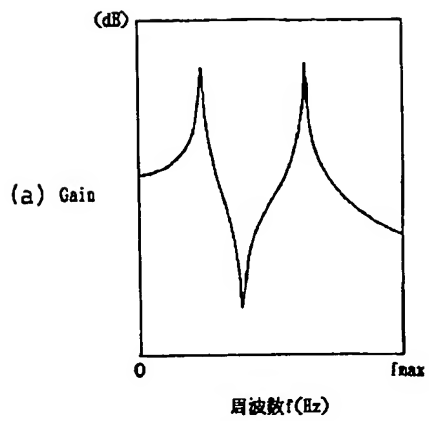
【図 8】



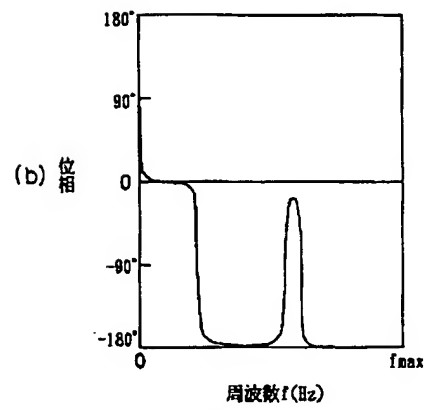
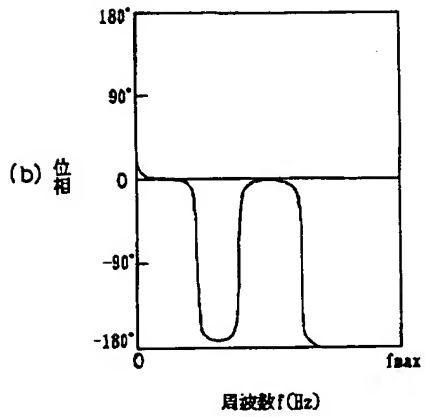
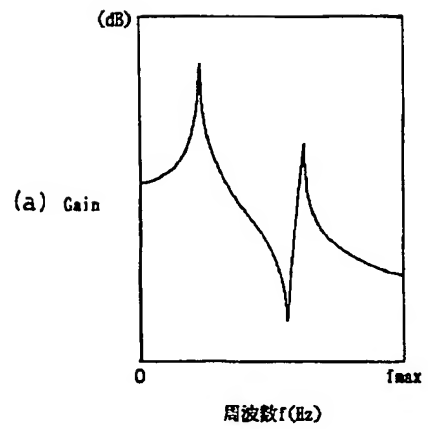
【図 9】



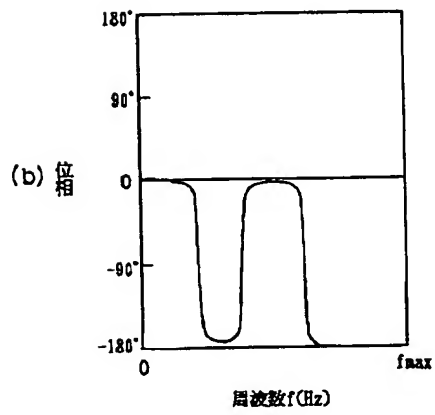
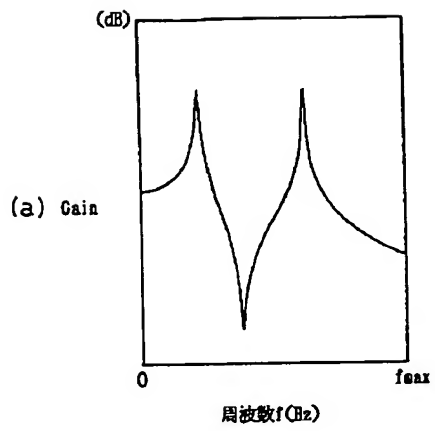
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

